

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2019

Matěj Nagl

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

Rušivé vlivy veřejného osvětlení  
Disturbing effects of public lighting

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Matěj Nagl**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Rušivé vlivy veřejného osvětlení**  
**Disturbing effects of public lighting**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- Popis rušivých vlivů
- Zdroje rušivých vlivů, vlivy spektrálního složení
- Výpočet rušivých vlivů
- Rušivé vlivy versus energetické úspory
- Návrh optimální osvětlovací soustavy veřejného osvětlení
- Měření parametrů osvětlovací soustavy veřejného osvětlení a vyhodnocení naměřených hodnot

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 29.4.2019

Matěj Prohl

## **Poděkování**

Touto cestou bych rád poděkoval panu prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. a Ing. Petru Běčákovi za odbornou pomoc a cenné rady při vypracovávání této práce.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou a vznikem rušivých vlivů důsledkem veřejného osvětlení. V práci jsou rozebrány zdroje rušivých vlivů a eliminace jejich působení, které jsou podloženy praktickou částí, kde došlo k měření rušivého světla dopadající na fasádu bytového domu.

## **Klíčová slova**

Světelný zdroj, veřejné osvětlení, osvětlovací soustava, rušivé světlo, jas, osvětlení

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with issues and emergence of disturbing influences caused by the public light. Resources of disturbing influences and elimination of their effects are analyzed in this work, which are supported by the practical part, where occurred to mensuration of disturbing light impacting on facade of the apartment building.

## **Key word**

Light source, public lighting, illumination system, obtrusive light, brightness, lighting

# Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a zkratk.....</b>	<b>9</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Popis rušivých vlivů .....</b>	<b>11</b>
1.1. Rušivé světlo .....	11
1.1.1. Oslnivé světlo .....	12
1.1.2. Světelný přesah.....	13
1.1.3. Závojevý jas.....	13
1.2. Výpočty rušivých účinků VO .....	14
1.3. Důsledky rušivého světla .....	15
1.3.1. Vliv rušivého světla na lidské zdraví .....	15
1.3.2. Vliv rušivého světla na přírodu.....	15
1.4. Eliminace rušivých vlivů.....	17
1.4.1. Eliminace rušivých vlivů veřejného osvětlení.....	18
1.5. Energetické úspory.....	19
<b>2. Zdroje rušivých vlivů.....</b>	<b>20</b>
2.1. Světelné zdroje.....	21
2.1.1. Základní parametry světelných zdrojů .....	21
2.1.2. Rozdělení světelných zdrojů .....	24
2.1.2.1. Teplotní zdroje.....	25
2.1.2.2. Výbojové zdroje.....	26
2.1.2.3. Polovodičové zdroje.....	30
2.2. Svítidla.....	31
2.2.1. Světelně technické parametry svítidel .....	31
2.2.2. Konstrukční parametry svítidel.....	32
<b>3. Vliv spektrálního záření .....</b>	<b>33</b>
3.1. Spektrální citlivost oka .....	33
3.2. Modrá složka světla .....	34

<b>3.2.1. Melatonin .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.2. Serotonin .....</b>	<b>35</b>
<b>4. Měření osvětlovací soustavy veřejného osvětlení.....</b>	<b>36</b>
4.1. Popis osvětlovací soustavy .....	36
4.1.1. Technické parametry svítidla a světelného zdroje .....	37
4.2. Měření osvětlovací soustavy .....	37
4.2.1. Měřicí přístroje.....	37
4.2.2. Postup měření .....	38
4.3. Vyhodnocení měření .....	39
<b>5. Návrh optimální osvětlovací soustavy veřejného osvětlení.....</b>	<b>40</b>
5.1. Modelování ulice.....	40
5.1.1. Volba svítidel .....	41
5.2. Srovnání .....	42
<b>Závěr.....</b>	<b>45</b>
<b>Seznam ilustrací: .....</b>	<b>46</b>
<b>Seznam tabulek: .....</b>	<b>47</b>
<b>Použitá literatura: .....</b>	<b>48</b>



## Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Veličina	Jednotka
$\Phi$	světelný tok	(lm)
$\Phi_{\alpha}$	pohlčený světelný tok	(lm)
$\Phi_{\rho}$	odražený světelný tok	(lm)
$\Phi_{\tau}$	propuštěný světelný tok	(lm)
$\Phi_{Ia}$	světelný tok svítidla	(lm)
$\Lambda$	vlnová délka	(nm)
$\rho$	činitel odrazu	-
$u$	činitel využití	(%)
$L_a$	jas kritického detailu	$(cd \cdot m^2)$
$L_b$	jas bezprostředního okolí	$(cd \cdot m^2)$
$R_a$	Index podání barev	-
$T$	doba života světelného zdroje	hodina
$E_m$	průměrná osvětlenost	(lx)

Zkratka	Význam
Obr.	obrázek
VO	veřejné osvětlení
GENEREL	dokument pro plánování rozvoje VO v daném městě
LED	Světelná dioda (z angličtiny light emitting diode)
ČSN	Česká technická norma
$T_c$	Náhradní teplota chromatičnosti

## Úvod

Veřejné osvětlení je osvětlení silnic, křižovatek, ulic, přechodů pro chodce, veřejných prostranství atd. Jeho hlavním cílem je přisvětlit ve večerních a nočních hodinách daný prostor dle stanovených předpisů. Veřejné osvětlení musí splňovat několik požadavků. Především jsou to požadavky bezpečnosti, které mají za následek nejen snížení nehodovosti, ale i kriminality. Dalším požadavkem veřejného osvětlení je zajištění orientace v prostoru jak chodců na chodníku, komunikaci, parku a jiných prostranstvích, tak řidičů projíždějících obcí, městem, nebo krajinou. V neposlední řadě je rovněž důležitým požadavkem estetický vzhled soustavy svítidel veřejného osvětlení, který vytváří celkový dojem města nebo obce nejen v noci, ale i za denního světla.

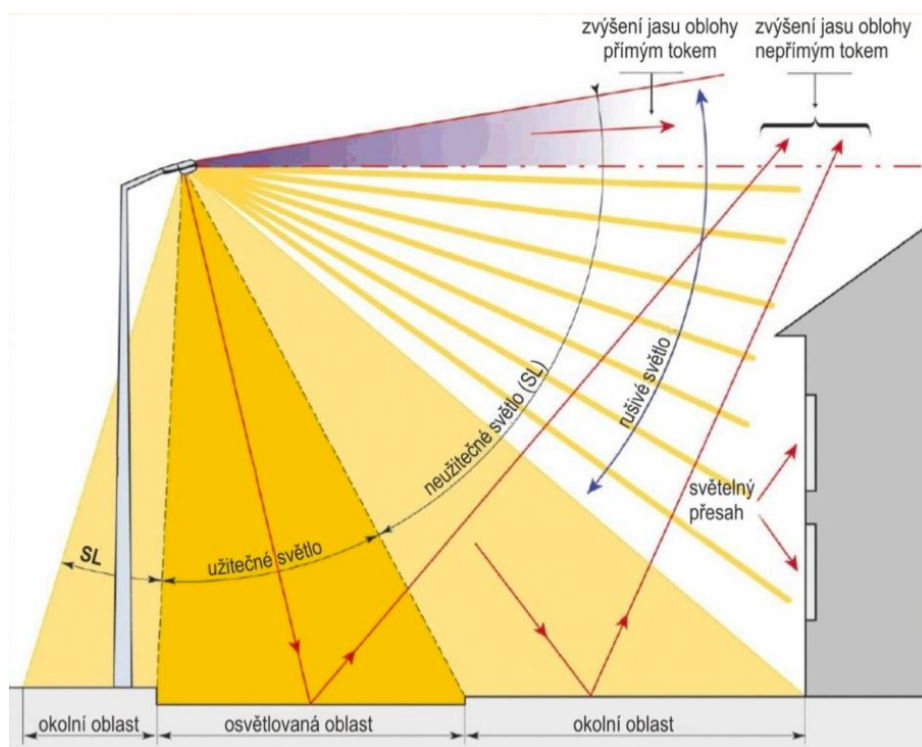
S rozvojem měst a jejich infrastruktury se zvyšuje i počet svítidel veřejného osvětlení, které má v mnoha případech i rušivý potenciál. Jako rušivé světlo, označujeme to, které je vytvořené člověkem a má nežádoucí účinky. Mezi tyto účinky patří například oslnění, vyzařování světelného toku do horního poloprostoru nebo osvětlení nežádoucích prostor.

Problematikou rušivého světla, se v České republice zabývá norma ČSN EN 13201-2. Tato norma definuje třídy osvětlení pozemních komunikací na základě fotometrických požadavků podle zrakové potřeby uživatelů.

# 1. Popis rušivých vlivů

## 1.1. Rušivé světlo

Rušivé světlo je takové světlo, které dopadá mimo hranice osvětlené oblasti a způsobuje jevy, které jsou pro nás nežádoucí. Mnoho zdrojů užívá výraz světelné znečištění. Tento pojem vznikl doslovným překladem z anglického jazyka, konkrétně z „light pollution“. Všeobecně lze říci, že rušivé světlo je nadbytečné světlo, které představuje souhrn všech nepříznivých vlivů umělého venkovního osvětlení. Mezi tyto jevy patří například oslnivé světlo, světelný přesah a závojevý jas oblohy.



Obrázek 1.: Znárodnění rušivého světla [2]

Světelný tok můžeme dále rozdělit na užitečné světlo a světlo neúžitečné. Užitečné světlo, je druh světelného toku, které svítí na požadované místo, čímž tato složka nepůsobí rušivě a slouží tak konkrétnímu účelu. Oproti tomu světlo neúžitečné je to světlo, které je vyzařované za hranici objektu, které svými vlastnostmi obtěžuje a zvětšuje nepohodu. [1] [2]

### 1.1.1. Oslnivé světlo

Oslnivé světlo, jinak také oslnění je druh rušivého světla, které vzniká, pokud je kontrast jasu větší než jas, na který je náš zrak schopen adaptace. Toto osvětlení, které zhoršuje viditelnost, může způsobit buďto předimenzování nebo špatné umístění osvětlení. Protikladem k oslnivému světlu je jev siluetový. Ten nastává v případě, když se snaží zrakový orgán rozpoznat tmavý předmět v příliš jasném prostředí.

Oslnivé světlo, rozdělujeme do 4 skupin. A to na absolutní oslnění, adaptační oslnění, relativní oslnění a závojové oslnění.

**Absolutní oslnění** má za příčinu dočasnou neschopnost vidění. Příčinou vzniku je vysoký jas. Jako absolutní oslnění posuzujeme jasy vyšší než 200 000 cd/m<sup>2</sup>, při osvětlení ve dne a 3000 cd/m<sup>2</sup> při umělém osvětlení.

**Adaptační oslnění** je způsobenou nečekanou změnou jasu, nastává při přechodu z tmavého prostředí do světlejšího.

Jako **relativní oslnění** posuzujeme jasy, které překročí meze adaptability v oblasti kontrastní citlivosti (změny jasu vyšší jak 1:10).

**Závojové oslnění** je způsobeno jasem rozptýleného do prostředí, jenž se vyskytuje před pozorovaným předmětem.

K poznání konkrétních předmětů v zorném poli je zapotřebí, aby porovnávané předměty měly odlišné jasy. Díky rozdílným jasům vynikne daná struktura a prostorová kompozice. Možnost zpozorování předmětu je dána rozdílem jasu předmětu, jasu kritického detailu  $L_a$  a jasu bezprostředního okolí  $L_b$ . Stupeň nerozeznatelnosti je udáván kontrastem jasu za předpokladu rovnoměrného jasu kritického detailu i bezprostředního okolí. [1][2][3]

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad [-]$$

### 1.1.2. Světelný přesah

Světelný přesah je druh rušivého světla, které sice neoslňuje, ale také nesvítí na určený prostor. Vzhledem k tomu, že svítí tam, kde nemá, jasně zvyšuje energetické ztráty. V případě veřejného osvětlení to může být to světlo, které dopadá do oken domů, nebo osvětluje nežádoucí pozemky, čímž narušuje soukromí obyvatel. [1][2][3]

### 1.1.3. Závojevý jas

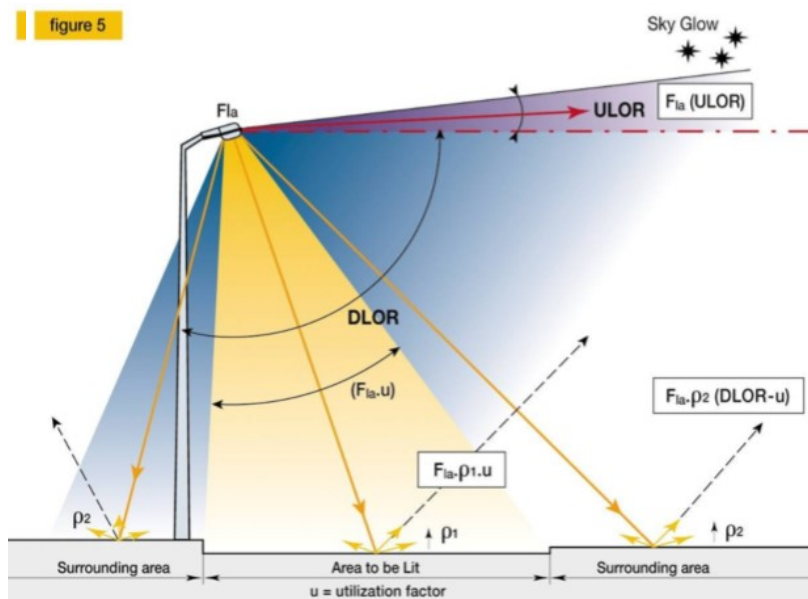
Závojevý jas je důsledkem odraženého světelného toku z umělých světelných zdrojů. Primárně je to ze svítidel veřejného osvětlení, sekundárně odrazem od povrchů, na nichž dochází k odrazu světelného toku. Takto odražené světlo se dále šíří atmosférou a narušuje pozorovatelnost objektů, které mohou být například zájmem astronomů.

Prostupnost světelného záření atmosférou jsou dány chemickým složením atmosféry. Bariéru prostupujícímu světlu tvoří prachové částice, vodní páry a aerosoly. Kterákoliv mikročástice tok částečně odrazí, pohltí a částečně projde jejím povrchem. Tudíž pro celkový světelný tok platí, že je dán součtem odraženého světelného toku, pohlceného světelného toku a propuštěného světelného toku:

$$\phi = \phi_{\rho} + \phi_{\alpha} + \phi_{\tau}$$

Nejpodstatnější je odražená složka světelného toku, která se vrací zpět nebo znovu naráží na bariéry a je dále rozptylována, pohlcena a propuštěna. [1][2][3]

## 1.2. Výpočty rušivých účinků VO



Obrázek 2.: Znázornění rušivých účinků [11]

Přímý světelný tok emitovaný svítidlem do horního poloprostoru:

$$\Phi_{Ia} \cdot ULOR$$

Kde:  $\Phi_{Ia}$  ( $\Phi_{sv}$ ) je světelný tok svítidla

ULOR podíl světelného toku vyzařovaného nad vodorovnou rovinu

Světelný tok odražený plochou, která má být osvětlena:

$$\Phi_{Ia} \cdot \rho_1 \cdot u$$

Kde:  $\Phi_{Ia}$  ( $\Phi_{sv}$ ) je světelný tok svítidla

$\rho_1$  činitel odrazu světelné oblasti

$u$  podíl světelného toku svítidla ke světelnému toku zdrojů

Světlo odražené okolní plochou:

$$\Phi_{Ia} \cdot \rho_2 \cdot (DLOR - u)$$

Kde:  $\Phi_{Ia}$  ( $\Phi_{sv}$ ) je světelný tok svítidla

$\rho_2$  činitel odrazu okolní oblasti

$u$  podíl světelného toku svítidla ke světelnému toku zdrojů

DLOR světelný tok vyzařovaný pod vodorovnou rovinu

### **1.3. Důsledky rušivého světla**

Veškeré nepříznivé vlivy, které působí umělé osvětlení, shrnujeme pod pojem světelné znečištění. Světelné znečištění je nejvíce koncentrováno v zemích a oblastech s vysokou hustotou obyvatelstva a vysokou životní úrovní.

Světelné znečištění se projevuje v několika formách. Umělý jas oblohy jinak také nazývaný jako světelný smog, který je způsobený rozptylem světla v atmosféře. Rušivé oslnění, neúměrná intenzita osvětlení objektu nebo interiéru a světelný přesah. Tyto formy se projevují většinou pohromadě a mají lokální charakter. [10]

#### **1.3.1. Vliv rušivého světla na lidské zdraví**

Lidský organismus je přizpůsobený pravidelnému 24hodinovému cyklu, jehož neodmyslitelnou součástí je spánek. Spánek je nezbytný pro regeneraci nervového systému a pro správnou funkci lidského těla. Nedostatek spánku nebo jeho špatná kvalita jsou nejčastější příčinou pocitu únavy, snížené pozornosti a výkonnosti. Dlouhodobé problémy se spánkem znamenají významné snížení kvality života a mohou být příčinou vzniku závažných duševních chorob.

Častou příčinou snížené kvality spánku jsou civilizační vlivy, mezi které patří i přítomnost nadměrného množství světla v noci. V přírodě nám dávalo signál k probouzení ranní svítání. V prostředí měst s narušeným cyklem střídání světla a tmy si lidé často zatemňují okna závěsy či žaluziemi, aby je v noci nerušilo pouliční osvětlení. Tím se však připravují i o přirozený signál v podobě svítání, který nahrazuje budík. [10]

#### **1.3.2. Vliv rušivého světla na přírodu**

Většina živočichů a téměř všechny rostliny řídí svoje chování a životní aktivitu na základě množství světla v okolním prostředí. S výjimkou přechodných a relativně vzácných jevů, jako jsou sopečné erupce, požáry, blesky nebo polární záře jsou jediným přírodním zdrojem světla v nočním prostředí nebeská tělesa. Měsíc, planety a jasné hvězdy představují přirozené dominanty noční krajiny a slouží jako orientační body.

Umělé osvětlení v nočním prostředí chování živočichů logicky ovlivňuje. Světlem je přitahováno např. mnoho druhů zejména létajícího hmyzu. Nejen, že

přilákaný hmyz může být lidem na obtíž, pro samotný hmyz bývá takové chování v prostředí s umělým osvětlením často fatální. Při kontaktu s rozžhaveným tělesem svítidla může dojít k jeho poranění nebo usmrcení, v jiných případech krouží kolem zdroje světla až do úplného vyčerpání.



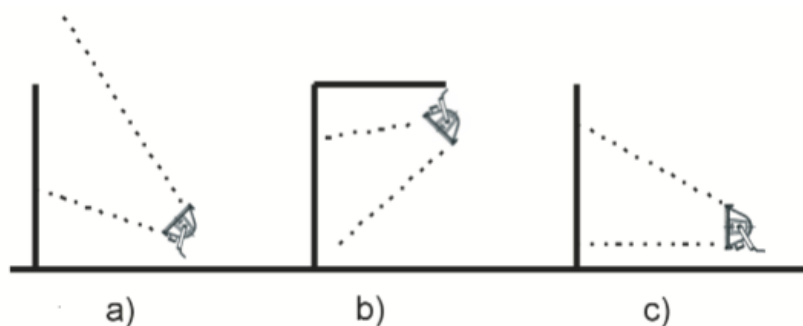
*Obrázek 3.: Hmyz a světelný zdroj [10]*

Dezorientace umělým osvětlením postihuje i ptactvo. Stěhovaví ptáci podnikají své dlouhé lety téměř výhradně v noci, přičemž využívají Měsíc a hvězdy, stejně jako obrysy význačných krajinných prvků např. na pobřeží, řeky k orientaci. Již tak fyzicky extrémně namáhavý přelet se jim dále komplikuje, což může být pro mnoho z nich fatální. [10]



## 1.4. Eliminace rušivých vlivů

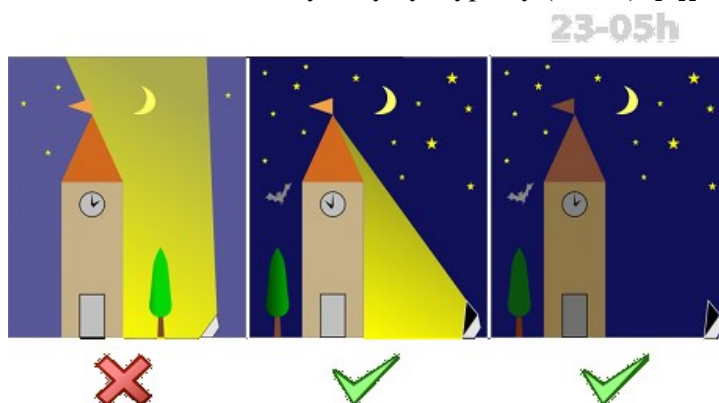
Velikost světelného znečištění, které se s narůstajícím množstvím svítidel stále zvětšuje, se zejména a v noci projevuje závažnými dopady na lidské zdraví a přírodu. Světelné znečištění lze poměrně snadno omezit, dodržováním následujících opatření. Například vhodnou volbou svícení, správnou instalací a nasměrování svítidel.



Obrázek 4.: Správné/nesprávné umístění a nasměrování svítidla [1]

Nejvhodnějším nasměrováním svítidel je přímo dolů (Obr. 4b) nebo na osvětlovaný objekt (Obr. 2c), ale bohužel ne vždy je toto technické řešení možné (Obr. 4a). V těchto případech používáme clon a stínidel, které omezují neúčinně rozptýlené světlo.

Není nutné, aby svítidla svítila stejně v pozdních nočních hodinách, jako ve večerní špičce, protože většina populace spí. Osvětlení parkovišť obchodních center, světelná reklama, billboardy a architektonická osvětlení, by měly být vypnuty (Obr. 5). [1][10]



Obrázek 5.: Doba svícení osvětlení [10]

### 1.4.1. Eliminace rušivých vlivů veřejného osvětlení

Největším zdrojem rušivých vlivů je kvůli své rozšířenosti veřejné osvětlení. Problematika rušivých vlivů veřejného osvětlení je velmi složitá nicméně je nezbytné se jí zabývat.

Veřejné osvětlení je soubor neplaceného, veřejně prospěšného osvětlení, díky kterému jsou osvětlovány veřejná prostranství, silniční a pěší komunikace včetně tunelů a podjezdů, mostů, náměstí, parků a zastávek městské hromadné dopravy. Soustava veřejného osvětlení zahrnuje elektrický rozvod, rozvaděče, podpěrné a nosné prvky, ovládací systém a svítidla.

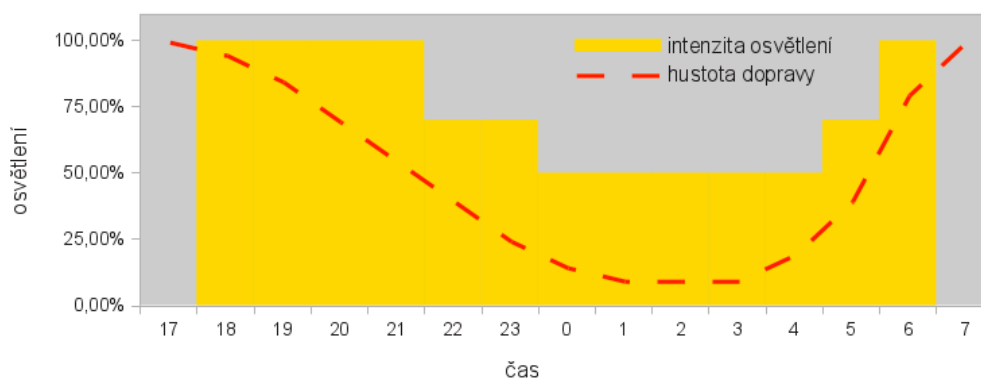
V případě osvětlení komunikací klademe důraz na funkční hledisko svítidla. Osvětlení musí být dimenzováno tak, aby odpovídalo typu a hustotě provozu, ale aby zároveň neoslňovalo řidiče nebo chodce. K osvětlení komunikací by neměly být používána nevhodná dekorační svítidla, jako jsou například lucerny, válce nebo koule. (Obr. 6)



Obrázek 6.: Správná volba typu svítidla [10]

Jak můžeme vidět na Obr. 2, takováto svítidla využívají jen malou část svého záření, zbytek je rozprostřen do okolí. Špatná volba svítidel vede k citelnému zvyšování světelného znečištění a velkým provozním nákladům.

K dalšímu snížení rušivých vlivů můžeme využít regulaci intenzity záření veřejného osvětlení v závislosti na hustotě dopravy. V pozdních nočních hodinách, kdy je provoz menší než přes den, je možno osvětlení zeslabit, ale pouze pod podmínkou, že nedojde k ohrožení bezpečnosti provozu. Touto regulací lze docílit snížení provozních nákladů až o 1/3. [1][10]



Obrázek 7.: Regulace osvětlení v závislosti na hustotě provozu [10]

## 1.5. Energetické úspory

Špatné osvětlení značí z ekonomického hlediska plýtvání elektrickým proudem a tím také mrhání financí. Světlo, které nesvítí tam, kam je potřeba nebo svítí příliš jasně je značně neúčinné a nákladné.

Pokud bychom srovnávali sodíkovou osvětlovací soustavu s LED osvětlovací soustavou zjistili bychom, že na totožnou hladinu udržované osvětlenosti má sodíková osvětlovací soustava několika násobně větší příkon a světelný tok než LED soustava. [15]

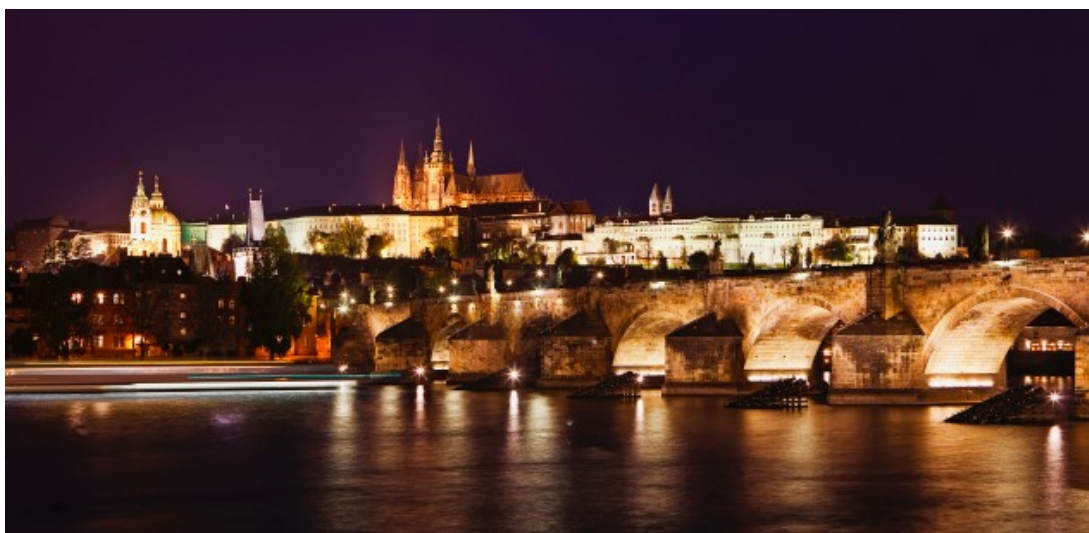
## 2. Zdroje rušivých vlivů

Mezi zdroje rušivého světla patří svítidla, která jsou určena pro osvětlení pozemních komunikací, reklamních ploch, letišť, významných architektonických památek a pro osvětlení venkovních pracovišť a sportovišť.

Osvětlení pozemních komunikací je souhrn svítidel, které zajišťují osvětlení v ulicích, v důležitých dopravních uzlech, ale také osvětlení přechodů pro chodce nebo osvětlení cyklostezek.

Osvětlení letišť je odděleno od osvětlení pozemních komunikací z důvodu zvýšených nároků na omezování rušivého světla kvůli bezpečnosti letového provozu. Na letištích je mnoho kombinací osvětlovacích technik, kdy záleží především na kvalitním osvětlení přistávacích ploch.

V oblasti arch. osvětlení se nejčastěji používají svítidla, které svítí do horního poloprostoru v důsledku čehož mají velký podíl na závojevém jasu oblohy. (Obr 3.)



Obrázek 8.: *Architektonické osvětlení Pražského hradu a Karlova mostu v Praze [9]*

Osvětlení venkovních sportovišť a pracovišť se téměř výhradně provádí pomocí velice výkonných zdrojů světla, a to kvůli tomu, že potřebujeme dostatečně osvětlit velké sportovní plochy nebo rozlehlé průmyslové zóny výrobních závodů. K osvětlení sportovišť se používají vysoké stožáry se svítidly, které díky své výšce výrazně přesahují jas veřejného osvětlení a způsobují výrazně větší jas noční oblohy. I přes to, že osvětlení venkovních sportovišť je pouze přechodné, zdroj rušivého světla je nezanedbatelný.

Po osvětlení sportovních ploch a průmyslových zón představuje rychle rostoucí zdroj světelného znečištění také reklamní osvětlení. Kromě osvětlení billboardů sem patří také osvětlení velkých nákupních center nebo čerpacích stanic. Reklamní plochy a nákupní střediska mají často nepřiměřeně vysokou hladinu osvětlenosti kvůli upoutání co největší pozornosti, a právě proto mají velký podíl na světelném znečištění. [1][10]

## **2.1. Světelné zdroje**

Světelný zdroj je základní součást svítidla a základním prvkem osvětlovacích soustav, který přeměňuje elektrickou energii na světlo. Záření můžeme pozorovat lidským okem jako viditelné světlo, pracuje v rozsahu vlnových délek zhruba 380-780 nm. V současnosti se ve veřejném osvětlení používají zejména halogenidové výbojky, vysokotlaké sodíkové výbojky nebo světelné LED – diody.

Mezi nejdůležitější parametry světelných zdrojů patří měrný světelný výkon, životnost, index podání barev, možnost stmívání a rozměry.

Podle parametrů dělíme světelné zdroje na kvalitativní a kvantitativní. Kvalita je posuzována podle doby života a indexu podání barev světelných zdrojů. U kvantitativních parametrů, které jsou důležité zejména pro uživatele a projektanty, spadá světelný tok, elektrický příkon a měrný světelný výkon.

Mimo kvalitativních a kvantitativních parametrů jsou u světelných zdrojů posuzovány taky jejich vlastnosti jako jsou například tvar, rozměry nebo hmotnost. [2]

### **2.1.1. Základní parametry světelných zdrojů**

#### **Světelný tok**

Světelný tok je světelně technická veličina, která vyjadřuje množství energie vyzařovaného za jednu jednotku času. Jednotkou světelného toku je lumen. (lm)

#### **Měrný výkon**

Je to poměr vyzařovaného světelného toku a příkonu, který charakterizuje efektivitu přeměny elektrické energie.

Tabulka 1.: Přehled měrných výkonů běžně vyráběných světelných zdrojů [1]

Druh světelného zdroje	Příkon (W)	Měrný výkon (lm*W <sup>-1</sup> )
Žárovka	10-200	5-15
Halogenová žárovka	10-2000	14-26
Kompaktní zářivka	5-60	56-88
Indukční výbojky	50-400	70-93
Rtuťová výbojka	50-1000	50-80
Vysokotlaká sodíková výbojka	50-1000	88-150
Halogenidová výbojka	35-3500	94-103
Nízkotlaká sodíková výbojka	18-180	130-200
Světelné diody	1-20	až 140
Xenonová výbojka	25-10000	až 95
Plazmový světelný zdroj	až 250	až 85

### Náhradní teplota chromatičnosti

Náhradní teplota chromatičnosti se používá k popisu barev či k vystižení vlastností světla. Udává se v kelvinech. (K)

Tabulka 2.: Základní rozdělení chromatičnosti zdrojů světla [7]

Barva světelného zdroje	Náhradní teplota chromatičnosti (K)
Svíčka	1 200
Žárovka	2 700
Teple bílá	3 000
Neutrální bílá	4 000
Chladně bílá	6 500

### Index podání barev

Je ho vyhodnocování věrnosti barevného vjemu, který srovnává barevný vjem osvětlení daného zdroje se světlem ze slunce. Hodnota indexu může být od 0 do 100. Nulová hodnota znamená, že barvy nemůžeme rozeznat. Naproti tomu při maximální hodnotě nám zdroj umožňuje přirozené podání barev.

Tabulka 3.: Přehled indexu podání barev [13]

<b>Zdroj</b>	<b>Index</b>
Levné zářivky a LED	60-70
Běžné zářivky a LED	kolem 80
Plnospektrální zdroje	91-100
Žárovky	100
Denní světlo	100

## **Životnost**

Životnost světelných zdrojů je parametr, který se udává v hodinách. Určuje celkovou dobu svícení do doby, kdy je nepoužitelný nebo do doby, kdy nám zdroj vydrží hospodárně svítit. Během života zdroje dochází k postupnému snižování světelného toku. Proto pro přesnost a účelnost můžeme životnost zdroje rozdělit na účinnou, průměrnou a fyzickou životnost.

### **Průměrná životnost zdroje**

Je to průměr jednotlivých světelných zdrojů, udává dobu, za kterou činitel funkční spolehlivosti klesne pod 50 %.

### **Účinná životnost zdroje**

Během života zdroje dochází k postupnému poklesu světelného toku, až tato hodnota klesne pod 70% účinná životnost zdroje končí.

### **Fyzická životnost zdroje**

Je to celková doba provozuschopnosti zdroje od jeho prvního zapnutí až do úplné ztráty provozuschopnosti. Nejčastěji se uvádí v procentech.

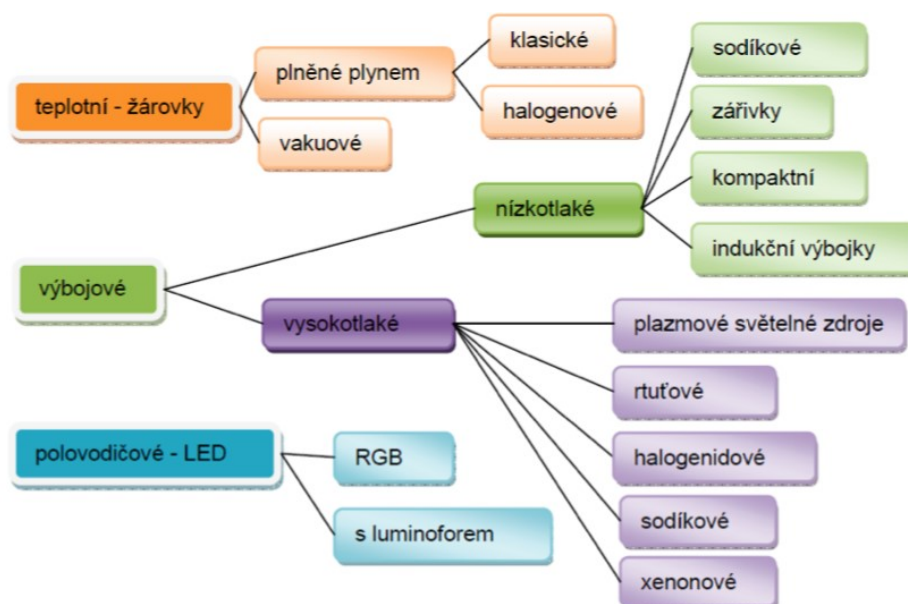
[1][2][12][13]

Tabulka 4.: Orientační živostnosti světelných zdrojů [1]

Druh světelného zdroje	Průměrná živostnost (hod.)	Účinná živostnost (hod.)
Obyčejné žárovky	1 000	1 000
Halogenové žárovky	2 000-3 000	2 000-3 000
Kompaktní zářivky	15 000	6 000-15 000
Lineární zářivky	20 000	10 000-18 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	16 000-24 000	10 000-20 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	32 000	20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	16 000	16 000
Halogenidová výbojky	10 000	4 000
Indukční výbojky	60 000	20 000
Výkonné LED	50 000-100 000	25 000-50 000
Plazmové světelné zdroje	50 000	50 000
Xenonové výbojky	1 000-3 000	1 000-3 000

### 2.1.2. Rozdělení světelných zdrojů

Umělé zdroje světla můžeme rozdělit podle podstaty vzniku světla, které využívají principu teplotního záření (žárovky), elektrického výboje (výbojky, zářivky) nebo luminiscencí (svítivé diody). Rozdělení graficky znázorněno na Obr. 9, můžeme zde vidět i podrobnější rozřídění.



Obrázek 9.: Rozdělení světelných zdrojů [1]



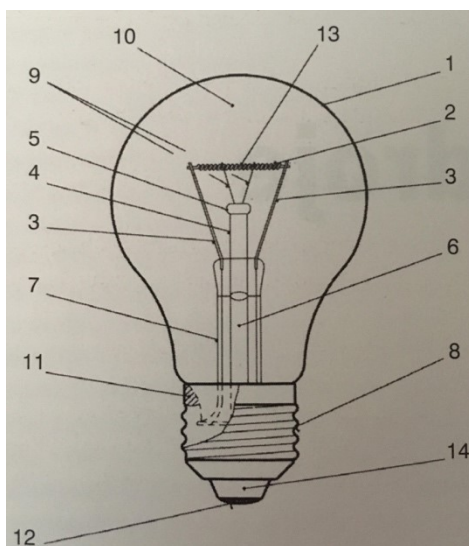
### 2.1.2.1. Teplotní zdroje

#### Žárovky

Žárovky jsou díky jednoduché konstrukci, malé hmotnosti, kompaktním rozměrům, jednoduchému napájení a nízké pořizovací ceně jeden z nejrozšířenějších a nejznámějších zdrojů světla. Světlo v žárovce vzniká rozžhavením jemného odporového wolframového vlákna, protékajícím proudem. Rozžhavené vlákno se stává zdrojem tepla a záření. Jsou značně nehospodárné, až 95 % dodané energie se mění na teplo.

Mezi výhody žárovek patří jejich vysoký index barevného podání, který je  $R_a=100$  a měrný výkon žárovek, který se pohybuje okolo  $10 \text{ lmW}^{-1}$ .

Doba života je krátká, pohybuje se kolem 1000 hodin. Vzhledem k této nevýhodě a k malé účinnosti přeměny elektrické energie na světlo se žárovky ve veřejných osvětleních už prakticky nepoužívají. Vyjímkou jsou pouze dekorace v období Vánoc, které jsou umístěny na sloupech. Žárovky jsou nahrazovány LED diodami, halogenovými žárovkami nebo kompaktními zářivkami.



- |                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| 1 - baňka            | 8 - patice          |
| 2 - wolfram. vlákno  | 9 - háčky           |
| 3 - přívody          | 10 - plynná náplň   |
| 4 - tyčinka          | 11 - tmel           |
| 5 - čočka            | 12 - pájka          |
| 6 - čerpací trubička | 13 - getr           |
| 7 - talířek          | 14 - izolace patice |

Obrázek 10.: Konstrukce standartní žárovky [2]

### Halogenové žárovky

Mezi hlavní výhodu halogenových žárovek patří jejich doba života, která je přibližně 2x delší než u klasických žárovek. Pohybuje se tedy kolem 2000 hodin. Index barevného podání světla je  $R_a=100$  a jejich měrný výkon se pohybuje kolem  $22 \text{ lmW}^{-1}$ .

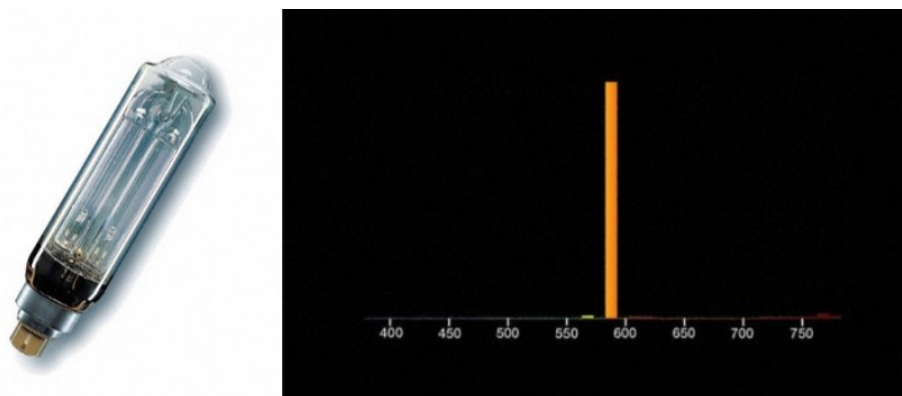
### 2.1.2.2. Výbojové zdroje

Světlo ve výbojových zdrojích vzniká průchodem elektrického proudu prostředím, které je obohaceno o vhodné plyny a jejich směsi. Téměř vždy se jedná o páry rtuti nebo sodíku, dále taky chemické prvky a vzácné plyny. (neon, xenon a jejich směsi.)

Výbojové zdroje, díky svému velkému výkonu používáme k osvětlování komunikací, sportovišť, architektonických budov. Nevýhoda výbojových zdrojů, je nižší podání barev  $R_a$ .

#### Nízkotlaké sodíkové výbojky

Nízkotlaké sodíkové výbojky mají vysoký měrný výkon, kolem  $130 - 200 \text{ lmW}^{-1}$  a mají výbornou délku života dosahující až 24 000 hodin. Hlavním nedostatkem nízkotlakých sodíkových výbojek je nulový index podání barev  $R_a=0$ . Vzhledem k tomu, že v jejich světle nelze rozlišovat barvy, mají velmi omezené používání. Mohou se použít k osvětlení výpadových silnic a dálnic.

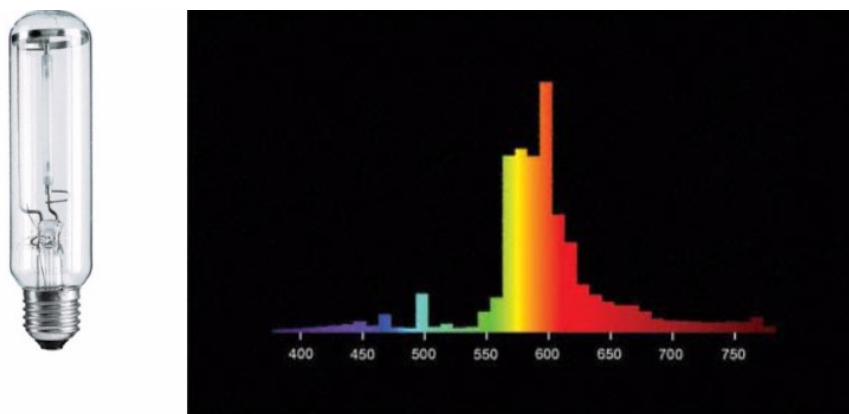


Obrázek 11.: Příklad nízkotlaké sodíkové výbojky s její spektrální charakteristikou [5]

### Vysokotlaké sodíkové výbojky

Sodíkové vysokotlaké výbojky jsou díky svým vlastnostem nejpoužívanějšími výbojkami, které se používají ve všech oblastech veřejného osvětlení, osvětlování pěších zón a budov. Jejich podíl v oblasti veřejného osvětlení stále narůstá, a to především díky vysokému měrnému výkonu dlouhému životu a velké úspoře elektrické energie. Doba života těchto výbojek se pohybuje v rozmezí 16 000 až 36 000 hodin a měrný výkon se pohybuje až do  $150 \text{ lmW}^{-1}$ .

Pro vysokotlaké sodíkové výbojky je charakteristické, že světlo, které vyzařují, je žluté až oranžové. Nevýhodou je právě zmiňovaná barva světla, při které je index podání barev  $R_a=25$ . [4][5][6]



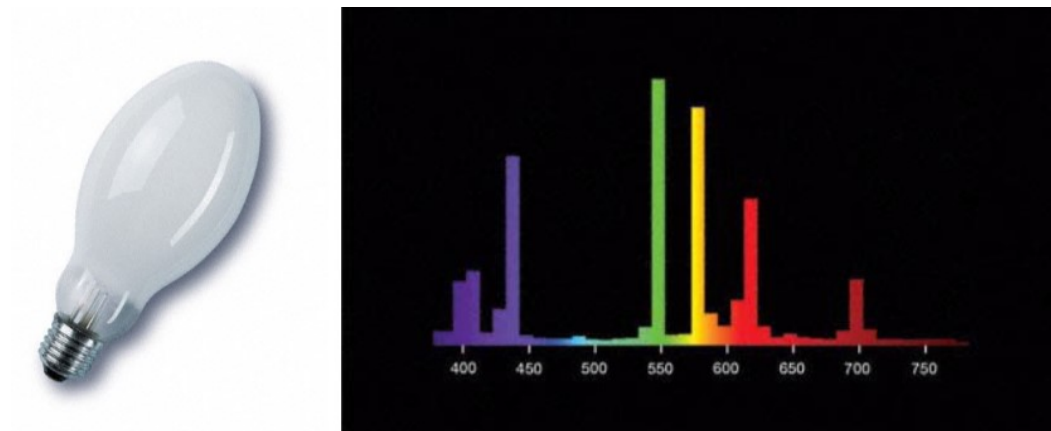
Obrázek 12.: Příklad vysokotlaké sodíkové výbojky s její spektrální charakteristikou [5]

### Vysokotlaké rtuťové výbojky

Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou v veřejném osvětlení na ústupu, a to především z důvodu nízkého měrného výkonu, který je v rozmezí od  $50 - 80 \text{ lmW}^{-1}$  a dlouhou dobou ustálení výboje. K ustálení výboje dochází až po 3-5 minutách.

K výhodám rtuťových výbojek patří dobrá odolnost vůči otřesům a změnám teploty, větší spolehlivost a malou ztrátu světelného toku během technického života zdroje. Doba života se zde pohybuje v rozmezí 12 – 15 tisíc hodin a index podání barev  $R_a=50$ .

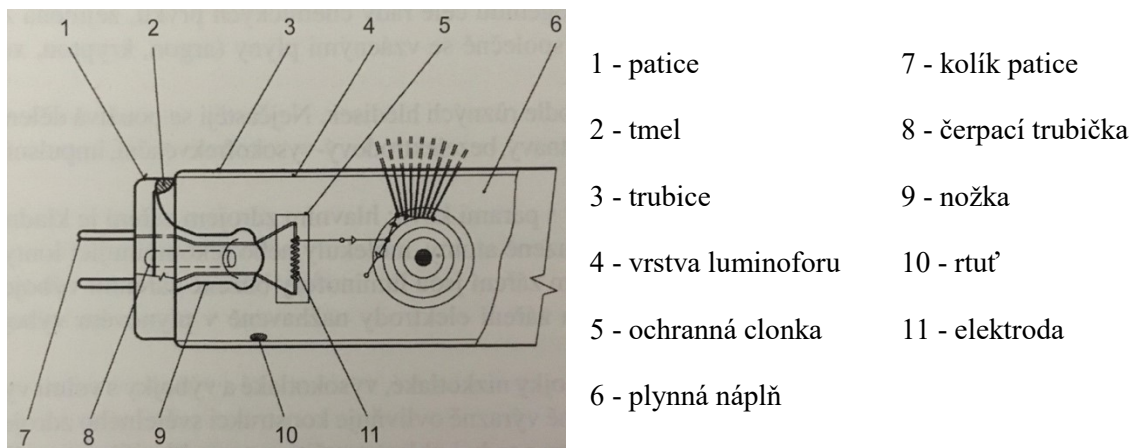
Tyto výbojky se osazovaly k osvětlování pěších zón, parků nebo k osvětlení parkovacích ploch. [4][5][6]



Obrázek 13.: Příklad vysokotlaké rtuťové výbojky s její spektrální charakteristikou [5]

### Lineární zářivky

Lineární zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, které vyzařují v oblasti ultrafialového záření. Byly vyvinuty kvůli velké nehospodárnosti žárovek. Tyto zdroje mají většinou trubicový tvar. Na Obr. 5 je popsána konstrukce lineární zářivky. [4][5][6]



Obrázek 14.: Konstrukce lineární zářivky [2]

K přeměně neviditelného ultrafialového záření používají vrstvu luminoforu, která je obsažena na vnitřním povrchu skleněné trubice. (viz. Obr.) Pomocí různých typů luminoforu, lze měnit barvu světla zářivky.

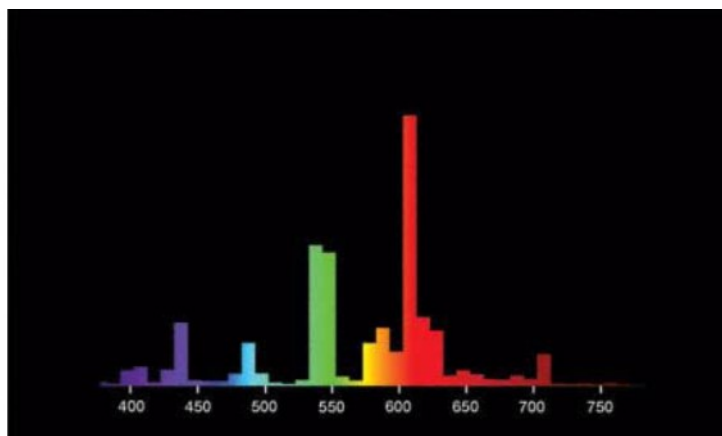
V případě zářivek je doba života závislá na četnosti zapínání a vypínání, není proto vhodné, je v praxi umisťovat tam, kde je vyžadováno jen krátkodobé osvětlení. Za dodržení této podmínky se doba života lineární zářivky s klasickým předřadníkem pohybuje okolo 10 tisíc hodin, ovšem doba života lze výrazně prodloužit použitím elektrického předřadníku. V tomto případě se dostáváme téměř na dvojnásobnou hodnotu, kolem 18 tisíc hodin.

Hlavní nevýhodou těchto zdrojů světla je jejich závislost na teplotě, při nízkých teplotách kolem bodu mrazu je hodnota vyzařovaného toku velmi nízká. [4][5][6]

### Kompaktní zářivky

Kompaktní zářivky se vyznačují vysokým indexem podání barev, výraznou úsporou elektrické energie a výrazně delší technickou dobou života oproti klasickým žárovkám. Kompaktní zářivky mají velmi vysoký měrný výkon, který bývá až pětinasobně vyšší, než jaký bývá u standardních žárovek. Doba života tohoto typu světelného zdroje se pohybuje kolem 15 tisíc hodin.

Kompaktní zářivky jsou především vhodné pro osvětlování zastávek nebo pěších zón na osvětlení nejsou vhodné, protože nezajišťují dostatečné osvětlení. [4][5][6]



Obrázek 15.: Příklad kompaktní zářivky s její spektrální charakteristikou [

### **Halogenidové výbojky**

Halogenidové výbojky, které nacházejí využití v místech s vysokými nároky na barevné podání, mají výborné vlastnosti indexu podání barev  $R_a=90$  a měrného výkonu, který dosahuje až  $130 \text{ lmW}^{-1}$ .

V praxi se používají k osvětlování center měst, osvětlování velkých prostranství, sportovišť nebo k nasvícení architektonických budov. Halogenidové výbojky se osazují také k osvětlení přechodů pro chodce nebo křižovatek.

K použití v oblasti veřejného osvětlení, ale nejsou vhodné. Hlavním důvodem je jejich vysoká pořizovací cena, která je dána technologickou náročností na výrobu. K dalším nevýhodám patří pomalý náběh světelného toku (kolem 4 minut) a nemožnost stmívání.[4][5][6]

### **2.1.2.3. Polovodičové zdroje**

Světelné LED diody se v dnešní době těší stále většímu rozmachu, a to ve všech oblastech osvětlovací techniky. K vytváření světelného záření využívají odlišný fyzikální princip než žárovky či výbojky. Diody představují elektronický prvek, které při průchodu proudem polovodičovým přechodem vyzařuje velmi úzké spektrum.

LED diody mají řadu výhod, díky kterým mají tyto zdroje obrovský potenciál rozvoje do budoucna. Mezi výhody těchto světelných zdrojů patří především dlouhá životnost, možnost generování různých barev spektra a možnost stmívání.

Největší nevýhodou LED je špatné odvádění tepla z oblasti PN přechodu, které ovlivňuje velikost příkonů jednotlivých zdrojů. S rostoucí teplotou PN přechodu se snižuje mimo jiné i životnost a velikost světelného toku. Příkony LED zdrojů světla se pohybují v jednotkách wattu.[4][5][6]

## 2.2.Svítidla

Základní funkcí svítidel je optimalizace toku, aby došlo k správnému rozptylu světla a osvětlení daných prostor, vystupujícího ze světelného zdroje.

Můžeme je rozdělit do několika kategorií podle různých kritérií. Například podle typu světelného zdroje, podle umístění, podle podílu vyzařování do určitých směrů nebo také podle konstrukce. U typu světelných zdrojů rozlišujeme svítidla žárovková, zářivková, led-diodová atp. V případě dělení podle konstrukce rozlišujeme svítidla na stolní, stojanová, závěsná, stropní, nástěnná nebo bodová svítidla.

Na konstrukci svítidel klademe množství požadavků, obecně klademe důraz na snadnou údržbu, snadnou výměnu zdroje, na životnost a odolnost. V případě venkovních svítidel nebo u svítidel určených do koupelen, bazénů se k těmto základním požadavkům přidávají také požadavky na bezpečnost. [8]

### 2.2.1. Světelně technické parametry svítidel

#### Světelný tok svítidla

Světelný tok svítidla, je dán rozdílem světelného toku všech zdrojů umístěných ve svítidle a světelného toku ztraceného, který se ztratil při optickém zpracování. [12]

#### Jas svítidla

Jas svítidel se vypočítává podílem svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru. [12]

$$L_{\gamma} = \frac{I_{\gamma}}{A \cdot \cos \gamma} \quad [\text{cdm}^2; \text{cd,m}^2]$$

Kde:

$I_{\gamma}$	je svítivost svazku světelných paprsků
$A$	je velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem
$\gamma$	je úhel mezi normálou plochy a směrem radiusvektoru $I_{\gamma}$

#### Účinnost svítidla

Účinnost konkrétního svítidla určuje jeho hospodárnost, je dána poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku zdrojů. [12]

$$\eta_{sv} = \frac{\phi_{sv}}{\phi_z} \quad [-; \text{lm}, \text{lm}]$$

Kde:  $\Phi_{sv}$  je světelný tok svítidla  
 $\Phi_z$  je světelný tok všech zdrojů světla ve svítidle

### Činitel tvaru křivky svítivosti

Činitel tvaru křivky svítivosti je dán poměrem maximální svítivosti a střední svítivosti. [12]

$$K_F = \frac{I_{MAX}}{I_{STR}} \quad [-; \text{cd}, \text{cd}]$$

Kde:  $I_{MAX}$  je maximální svítivost  
 $I_{STR}$  je střední svítivost

## 2.2.2. Konstrukční parametry svítidel

Svítidla se po konstrukční stránce skládají z mechanické části, která slouží k zachování optické vlastnosti světla po celou dobu technického života, z optické části, která udává kolik a kam bude světelný tok směřován a elektrické části, která ovlivňuje celkovou spotřebu elektrické energie svítidel. Mezi konstrukční prvky, které ovlivňují směřování světla patří reflektor, refraktor a difuzor.

### Reflektor

Reflektor tvoří optickou část svítidel, která odráží světlo vyleštěnou kovovou nebo pokovenou plochou, které nesvítí do požadovaných směrů.

### Refraktor

Refraktor díky lomu světla, rozptyluje světlo daného světelného zdroje do požadovaných míst a reguluje jas zdroje na požadované hodnoty. Jako refraktor se nejčastěji používá různě tvarovaná rastrovaná skla, baňky, kotouče.

### Difuzor

Difuzor je konstruován ze zakaleného skla nebo plastu tak, aby pomocí difúze působil jako plošný zdroj světla. Častým úkolem difuzoru je chránit světelný zdroj před znečištěním, vlhkostí a mechanickým poškozením.[1][2]



### 3. Vliv spektrálního záření

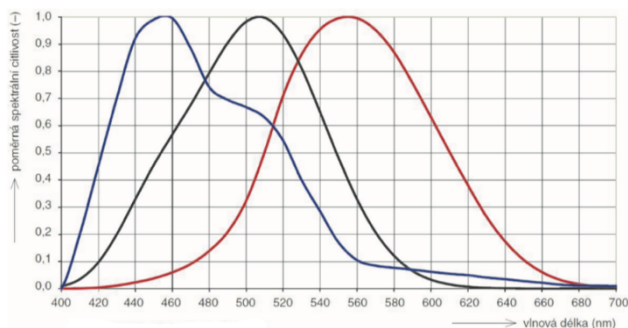
Všechny typy světelných zdrojů se liší ve spektru, které každý zdroj vyzařuje. Spektrum klasické žárovky je spojité a jsou v něm zastoupeny převážně vyšší vlnové délky, charakterem se toto spektrum nejvíce blíží dennímu světlu. Vnímání barev je proces, který je založen na fyziologických vlastnostech lidského oka. Lidské oko obsahuje čípky, které jsou citlivé na dlouhé, střední a krátké vlnové délky. Oko jako takové nedokáže rozlišovat spektrální složení světla, ale vnímá ho aditivně. To znamená, že monochromatickému záření odpovídá přesně daná vlnová délka. [1]

Tabulka 5.: Vymezení barev na základě vlnové délky [1]

Vlnová délka (nm)	Barevný tón
380-430	Fialová
430-465	Modrofialová
465-490	Modrá
490-500	Modrozelená
500-560	Zelená
560-575	Zelenožlutá
575-585	Žlutá
585-620	Oranžová
620-770	Červená

#### 3.1. Spektrální citlivost oka

Zrakový orgán není stejně citlivý na záření různých vlnových délek. U každé osoby jsou hranice viditelnosti mírně odlišné. Nejvyšší citlivost oka při fotopickém denním vidění je určena citlivostí očních čípků a nejčastěji se pohybuje okolo 555 nm.



Obrázek 16.: Spektrální citlivost zraku [7]

Na obr. 16. je červenou křivkou vynesena spektrální citlivost oka pro denní vidění při vysokém adaptačním jasu. Naopak černá křivka zobrazuje spektrální citlivost oka pro noční vidění při nízkém adaptačním jasu. Při porovnávání obou průběhů dojdeme k závěru, že spektrální citlivost zraku je závislá na adaptačním jasu.

Poslední, modrá křivka, zobrazuje citlivost cirkadiálního čidla C gangliových buněk. Tyto receptory neslouží k vidění, ale k řízení biorytmů v těle. Z obrázku je patrné, že citlivost těchto receptorů je nejvyšší v kratších vlnových délkách. [1][7]

### **3.2.Modrá složka světla**

Modrou složku světla lze charakterizovat vlnovou délkou 380 nm až 500 nm. Je to záření s nejkratší vlnovou délkou ve viditelném spektru, má tedy největší energii, kterou nese elektromagnetická vlna. Zdrojem modré složky je slunce, digitální obrazovky, zářivky a LED osvětlení. Mnoho z dnešních elektrotechnických zařízení využívají LED technologii podsvícení, která pomáhá zvyšovat jas a přehlednost obrazovek. Tyto LED technologie vyzařují velmi silné modré světelné vlny, vzhledem k jejich rozsáhlému využívání a rostoucí popularitě jsme postupně vystavováni stále více a více zdrojům modrého světla a na delší dobu. Nicméně největším zdrojem modrého světla je stále slunce, které vyzařuje spektrum přes atmosféru.

Takové záření je nám prospěšné za denního světla, přes den nám zvyšuje reakční čas, zvyšuje kognitivní funkce, pomáhá nám si lépe pamatovat a zlepšuje náladu. Nejvíce rušivé je zejména v noci. Modré světlo ovlivňuje celou řadu denních pochodů, především tvorbu melatoninu a serotoninu. Z dlouhodobého hlediska má modré světlo negativní dopad na zrak. Jak na oko jako na samotný orgán, tak na celkový organismus. Dlouhodobým vystavením se zvyšuje riziko poškození sítnice a vede až k projevu věkem podmíněné makulární degeneraci.[8]

#### **3.2.1. Melatonin**

Melatonin je hormon, který reguluje chronobiologické rytmy. Hladiny melatoninu jsou silně závislé na střídání světla a tmy. Jeho produkce je největší právě během noci. Maximální hladina melatoninu v těle je dosahována mezi druhou a čtvrtou hodinou ranní. Melatonin zvyšuje kvalitu spánku, informuje organismus o roční době, ovlivňuje reprodukční schopnost a podporuje imunitní systém.[8]

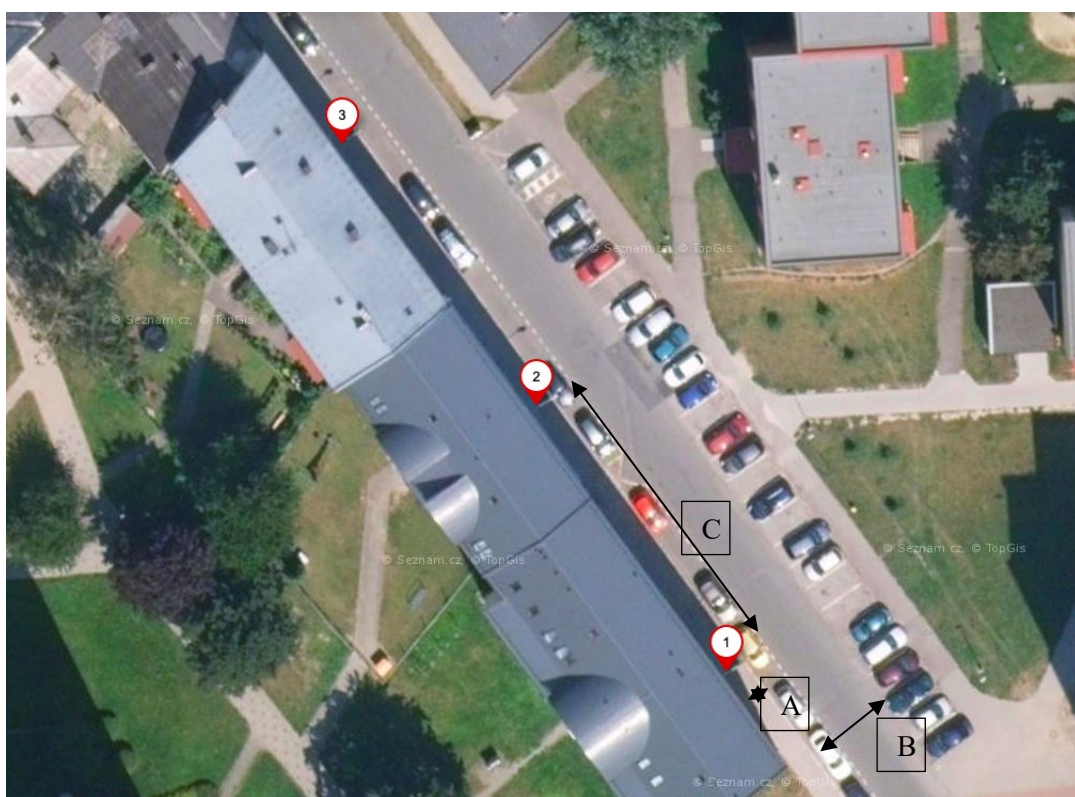
### **3.2.2. Serotonin**

Serotonin je biologicky aktivní látka v lidském těle, která je obsažená v krevních destičkách a v centrálním nervovém systému, na který má velký vliv hladina světelného záření. Jeho nedostatek způsobuje změny nálady, deprese, poruchy spánku a agresivitu. [8]

## 4. Měření osvětlovací soustavy veřejného osvětlení

### 4.1. Popis osvětlovací soustavy

Zvolený referenční úsek osvětlovací soustavy pro měření se nachází na ulici Československé armády v obci Bohumín a je součástí projektu, který se zabývá optimalizací řídicího systému a snížení energetické náročnosti veřejného osvětlení. Soustava je nově osazena LED diodami Phillips Luma Mini 71 W s roztečí 30 metrů. Daná soustava navíc nesplňuje světelně-technické parametry stanovené Generelem VO



Obrázek 17.: Popis osvětlovací soustavy měřeného úseku

Na Obr. 17 je znázorněna reálná situace měřeného úseku v Bohumíně. Geometrické údaje jsou znázorněny písmeny A, B, C. Šířka chodníku (A) je 3 metry, šířka vozovky (B) je 8 metrů a rozteč svítidel (C) je 30 metrů. Stupeň osvětlenosti vozovky je M3.

### 4.1.1. Technické parametry svítidla a světelného zdroje

Tabulka 6.: Parametry svítidla

<b>Výrobce</b>	PHILIPS
<b>Typ</b>	Luma mini
<b>Příkon</b>	68 W
<b>Optika</b>	DM11
<b>Světelný tok</b>	10 300 lm
<b>Tc</b>	4000 K

## 4.2. Měření osvětlovací soustavy

### 4.2.1. Měřicí přístroje

#### Luxmetr RadioLux 111



Rozsah:	0,001 lx 360 klx ve 3 rozsazích
Výrobce:	PRC Krochman
Sériové číslo:	No. 100612
Přesnost:	(2 % MH)

Obrázek 18.: Luxmetr Radiolux 111 [1]

#### Jasový analyzátor LMK Mobile advanced



Rozsah:	$0,3 \text{ cdm}^{-2} - 50\,000 \text{ kcd m}^{-2}$
Výrobní číslo:	2380521307
Nejistota měření:	4,7 %

Obrázek 19.: Obr. LMK Mobile advanced [1]

### 4.2.2. Postup měření

Měření proběhlo 29. 3. 2019 ve 22:40 hodin, kvůli eliminování působení denního světla. Dle normy ČSN EN 12464-2 bylo luxmetrem RadioLux 111 změřeno 5 rovnoměrně rozložených bodů na měřené části bytového domu ve výšce parapetu oken prvního patra.

Hodnoty osvětlenosti byly měřeny přímo na fasádě domu tak, aby srovnávací rovina byla rovnoběžná s fasádou budovy. Měřený úsek byl také vyfocen jasovým analyzátozem z pozice A. (viz. Obr. 17)



Obrázek 20.: Rozložení měřených bodů na fasádě bytového domu



Obrázek 21.: Jasová analýza měřeného rušivého světla

Tabulka 7.: Tabulka naměřených hodnot

	Bod 1	Bod 2	Bod 3	Bod 4	Bod 5
Osvětlenost (lx)	5,3	9,5	7,7	5,6	4,5

Z naměřených hodnot osvětlenosti rušivého světla (viz tab.) byly následně vypočítány průměrné hodnoty osvětlenosti, která vychází ze vztahu:

$$E_m = E_{m0} \cdot z \quad [lx, lx, -]$$

Kde:  $E_{m0}$  je naměřená hodnota osvětlenosti  
 $z$  je zvolená hodnota udržovacího činitele

Tabulka 8.: Vypočtené hodnoty

Měřená plocha	Průměrná $E_m$ (lx)	Maximální $E_{max}$ (lx)	Minimální $E_{min}$ (lx)
Oblast fasády 1.NP	6,52	9,5	4,5

Hodnota udržovacího činitele byla stanovena na 1 z důvodu vyhodnocování aktuálního rušivého osvětlení.

### 4.3. Vyhodnocení měření

Z naměřených dat plyne, že daná osvětlovací soustava, dle normy ČSN EN 12464-2, při zapnutém osvětlení mimo noční klid vyhovuje pouze zónám E3 a E4. Zóna E3 představuje středně světlé oblasti jako například průmyslová nebo obytná předměstí, zóna E4 představuje velmi světlé oblasti jako městská centra a obchodní zóny. V době nočního klidu, kvůli chybnému návrhu osvětlovací soustavy, nesplňuje dle normy žádnou zónu.

Při pohledu na jasovou analýzu vidíme, že hodnoty jasu v 1.NP také odpovídají zónám E3 a E4, ale ve výšce 2.NP se hodnoty jasu dostávají k hodnotám až 20-30 cd/m.

Vzhledem k nepříznivému vlivu rušivého světla na lidský organismus je nutné provést optimalizaci soustavy, která může být řešena buďto vyložním svítidla nebo použitím clonky, popřípadě kompletní změnou svítidla.

## 5. Návrh optimální osvětlovací soustavy veřejného osvětlení

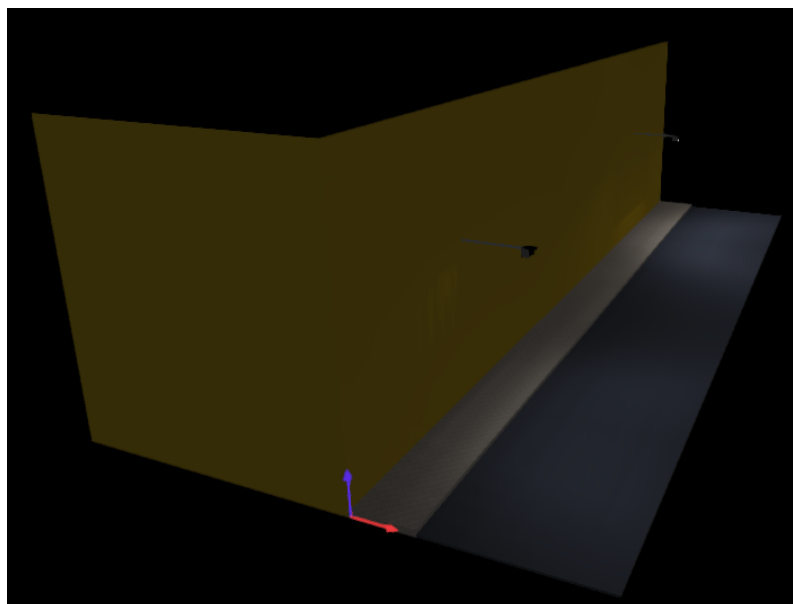
U původní osvětlovací soustavy bylo analýzou naměřených a vypočtených hodnot zjištěno, že osvětlenost fasády přilehlého domu neodpovídá hodnotám předepsaných normou ČSN EN 12464-2, proto byl vytvořen nový návrh.

Návrh optimální situace osvětlovací soustavy veřejného osvětlení ulice Československé Armády byl proveden ve výpočetním programu Dialux Evo, který je volně k stažení na internetu. Tento software se používá pro plánování, výpočet a vizualizaci vnitřního a venkovního osvětlení. Při světelně-technických výpočtech se řídí evropskými normami určenými právě pro osvětlování. Součástí programu je i online databáze svítidel od renomovaných výrobců, což usnadňuje práci při dohledávání dat o daných svítidlech.

Cílem návrhu je snížení rušivých účinků osvětlovací soustavy veřejného osvětlení při zachování dané osvětlenosti komunikace podle jejího zatřídění.

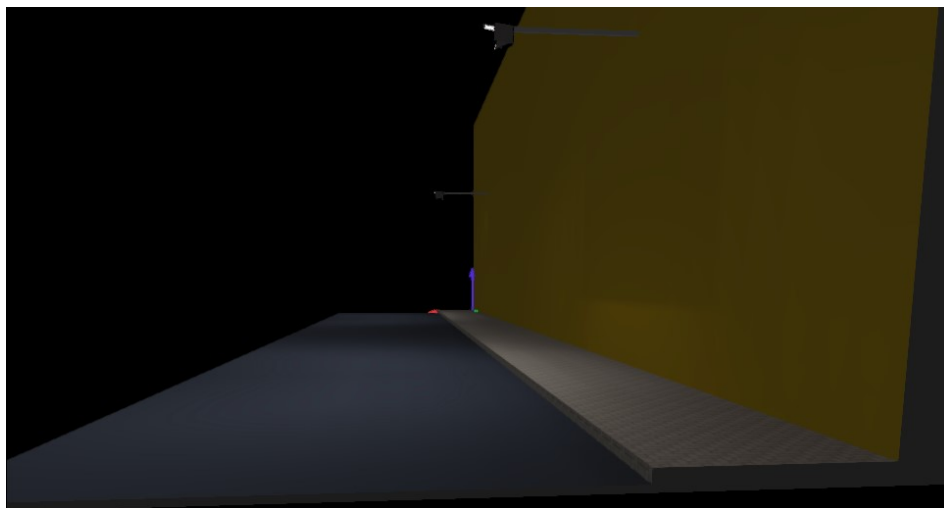
### 5.1. Modelování ulice

Při modelování ulice byly v programu zachovány geometrické údaje, aby vypočtené údaje korespondovaly se skutečnou situací v ulici. Rastr zkoumaných hodnot byl navržen podél celé délky domu od výšky chodníku až po umístění výložníků svítidla pro co nejpřesnější vyhodnocování.



Obrázek 22.: Model referenčního úseku





Obrázek 23.: Model referenčního úseku – detail

Druhý rastr hodnot byl umístěn na plochu vozovky, abychom byli schopni zachovat stupeň osvětlenosti komunikace podle jejího zatřídění. Ulice spadá do zóny M3.

Tabulka 9.: Geometrické údaje

Výška svítidel (m)	8	Šířka chodníku (m)	3
Rozteč svítidel (m)	30	Šířka vozovky (m)	8

Vzhledem k tomu, že byly zachovány geometrické údaje měřeného referenčního úseku, bylo nutné optimalizaci provést pomocí clony svítidel a jejich vyložení na 3 metry. Po této optimalizaci hodnoty splňují požadavky normy ČSN EN 12464-2 a lze osvětlení zatřídit podle charakteristiky prostředí do E2.

Pro splnění limitních požadavků v nočních hodinách není nutné, aby daná osvětlovací soustava byla po dobu nočního klidu provozována na nižším napětí.

### 5.1.1. Volba svítidel

Pro novou osvětlovací soustavu byla zvolena svítidla od firmy THORN. Jedná se o LED zdroj světla v barvě 4000 K určený pro veřejné osvětlení komunikací, který má symetrickou křivku svítivosti.

Typ svítidla: IP 72L35-740 WSC BPS CL2 M60 ANT

Rozměry: 718 x 224 x 114 mm

Celkový výkon: 75 W

Světelný tok: 11371 lm

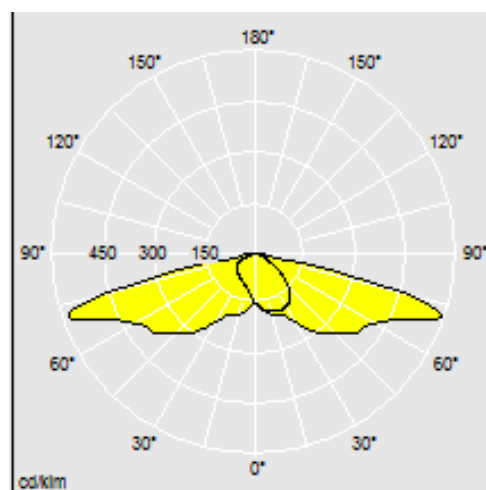
Světelný výkon svítidel 152 lm/W

Účinnost světelného zdroje: 151 lm/W

Index podání barev: 70

Teplota chromatičnosti: 4000 K

Hmotnost: 7,7 kg



Obrázek 24.: Svítidlo THORN [14]

## 5.2.Srovnání

Při srovnávání naměřených hodnot skutečné situace v Bohumíně a nasimulované hodnoty ve výpočetním programu Dialux můžeme vidět výrazné zlepšení situace z hlediska dopadajícího rušivého světla při zachování zatřídění vozovky.

Tabulka 10.: Srovnání hodnot

Měřená plocha	Průměrná Em (lx)	Maximální Emax (lx)	Minimální Emin (lx)
Oblast fasády 1.NP	6,52	9,5	4,5
Nasimulovaná plocha	Průměrná Em (lx)	Maximální Emax (lx)	Minimální Emin (lx)
Oblast fasády	0,5	5,05	0,037

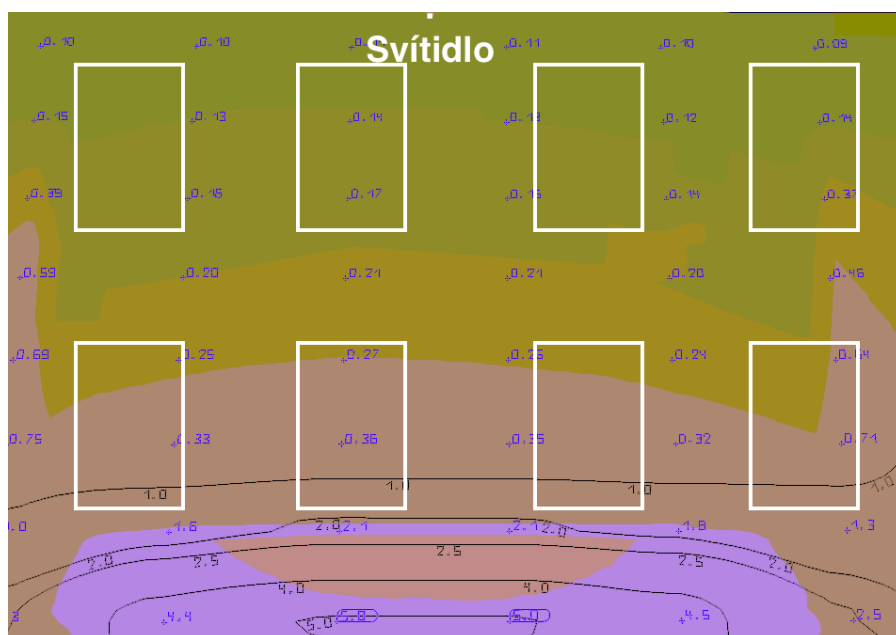
Pro přehlednost byly do jedné tabulky umístěny jak hodnoty získané při měření luxmetrem, tak hodnoty, které jsme získaly nasimulováním reálné situace a její optimalizací ve výpočetním programu Dialux.

Tabulka 11.: Charakteristika prostředí [5]

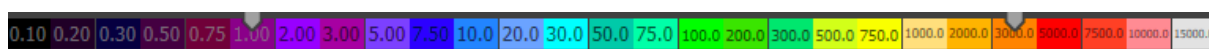
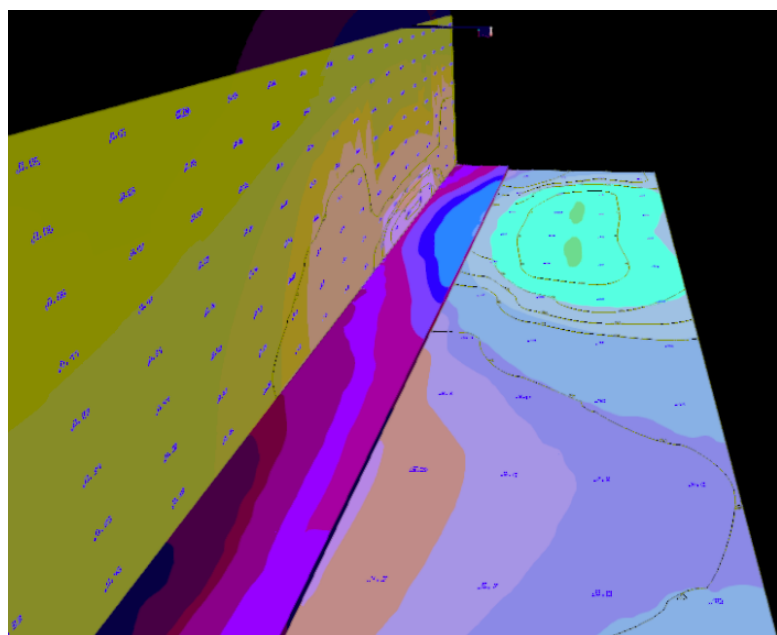
Zóna (charakteristika) prostředí	Světlo na objektech		Svítivost svítidla		Světlo nahoru	Jas	
	$E_v$ (lx)		$I$ (cd)		ULR (%)	$L_b$ ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )	$L_s$ ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )
	mimo noční klid <sup>a)</sup>	v době nočního klidu	mimo noční klid	v době nočního klidu		fasády budov	značky
E1	2	0	2500	0	0	0	50
E2	5	1	7500	500	5	5	400
E3	10	2	10000	1000	15	10	800
E4	25	5	25000	2500	25	25	1 000

Kde  $E_v$  - největší hodnota svislé (vertikální) osvětlenosti na objektech (lx);  
 $I$  - svítivost každého světelného zdroje v potenciálně rušivém směru (cd);  
 ULR - podíl (poměrná část) světelného toku svítidla (svítidel) vyzařovaného nad horizont v jeho (jejich) pracovní poloze a umístění (%);  $L_b$  - největší průměrný jas fasády budov ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ );  $L_s$  - největší průměrný jas značek ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ).  
<sup>a)</sup> V případě, kdy se neuplatňuje noční omezení, větší hodnoty nesmí být překročeny a menším hodnotám se má dát přednost.

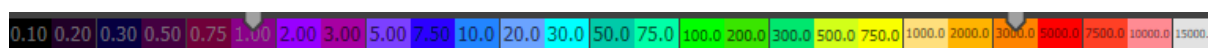
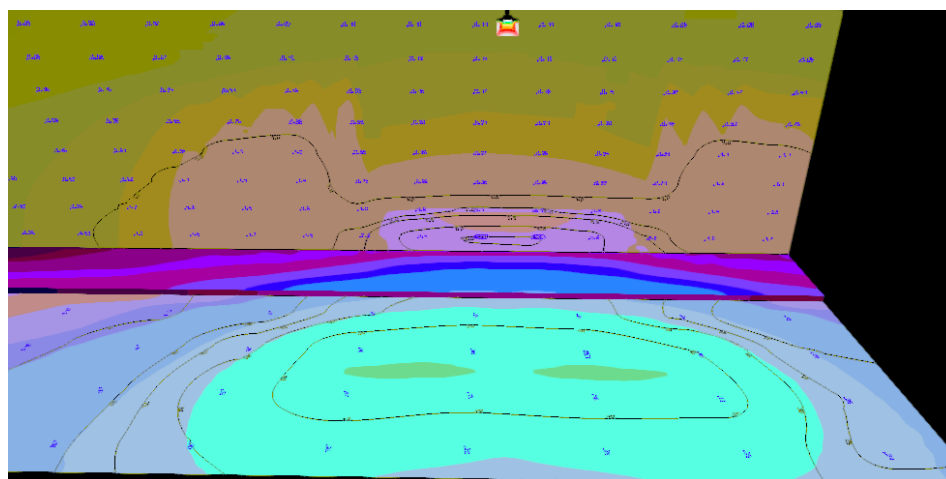
Na obr. 25 je výřez rastu umístěného na fasádě měřeného objektu. V nejnižším místě u chodníku dosahuje osvětlenost až 5 luxů, ovšem ve výšce parapetu 1. NP se dostáváme k hodnotě 1 lux. Takto navržená osvětlovací soustava splňuje i parametry zóny E2.



Obrázek 25.: Část rastu fasády pod svítidlem



Obrázek 26.: Nepravé barvy 1



Obrázek 27.: Nepravé barvy 2 – detail pod světlem

## **Závěr**

Cílem bakalářské práce bylo poukázat na rušivé vlivy veřejného osvětlení, proto je v teoretické části práce definováno, co za rušivé vlivy považujeme a jaké jsou jejich vlivy na přírodu a člověka. I přes to, že je veřejné osvětlení v posledních letech nejčastěji označováno za největší zdroj světelného znečištění, je nezbytnou a neodmyslitelnou součástí našeho života. Proto je nutné zabývat se eliminací nežádoucích rušivých účinků a optimalizací i z hlediska energetických úspor.

Významná část práce je zaměřena na analýzu zdrojů rušivých vlivů, kde jsou popsány jejich výhody a nevýhody pro použití v oblasti veřejného osvětlení.

Praktická část práce se věnuje měřením rušivých vlivů venkovní osvětlovací soustavy veřejného osvětlení v Bohumíně, kde bylo cílem změřit světelný přesah, které způsobují svítidla dané soustavy. Měření přesahu bylo prováděno Luxmetrem a jasovou kamerou ve večerních hodinách. Po tomto měření bylo zjištěno, že hodnoty neodpovídají normativním požadavkům, a proto byl proveden návrh optimalizace ve výpočetním programu Dialux. Optimalizace byla provedena pomocí clon svítidla, aby nedocházelo ke světelnému přesahu na fasádu zkoumané budovy.

## Seznam ilustrací:

Obrázek 1.:	Znázornění rušivého světla [2] .....	11
Obrázek 2.:	Znázornění rušivých účinků [11] .....	14
Obrázek 3.:	Hmyz a světelný zdroj [10] .....	16
Obrázek 4.:	Správné/nesprávné umístění a nasměrování svítidla [1] .....	17
Obrázek 5.:	Doba svícení osvětlení [10] .....	17
Obrázek 6.:	Správná volba typu svítidla [10] .....	18
Obrázek 7.:	Regulace osvětlení v závislosti na hustotě provozu [10] .....	19
Obrázek 8.:	Architektonické osvětlení Pražského hradu a Karlova mostu v Praze [9] .....	20
Obrázek 9.:	Rozdělení světelných zdrojů [1] .....	24
Obrázek 10.:	Konstrukce standartní žárovky [2] .....	25
Obrázek 11.:	Příklad nízkotlaké sodíkové výbojky s její spektrální charakteristikou [5] .....	26
Obrázek 12.:	Příklad vysokotlaké sodíkové výbojky s její spektrální charakteristikou [5] .....	27
Obrázek 13.:	Příklad vysokotlaké rtuťové výbojky s její spektrální charakteristikou [5] .....	28
Obrázek 14.:	Konstrukce lineární zářivky [2] .....	28
Obrázek 15.:	Příklad kompaktní zářivky s její spektrální charakteristikou [5] .....	29
Obrázek 16.:	Spektrální citlivost zraku [7] .....	33
Obrázek 17.:	Popis osvětlovací soustavy měřeného úseku .....	36
Obrázek 18.:	Luxmetr Radiolux 111 [1] .....	37
Obrázek 19.:	Obr. LMK Mobile advanced [1] .....	37
Obrázek 20.:	Rozložení měřených bodů na fasádě bytového domu .....	38
Obrázek 21.:	Jasová analýza měřeného rušivého světla .....	38
Obrázek 22.:	Model referenčního úseku .....	40
Obrázek 23.:	Model referenčního úseku – detail .....	41
Obrázek 24.:	Svítidlo THORN [14] .....	42
Obrázek 25.:	Část rastru fasády pod svítidlem .....	43
Obrázek 26.:	Nepravé barvy 1 .....	44
Obrázek 27.:	Nepravé barvy 2 – detail pod svítidlem .....	44

## Seznam tabulek:

<i>Tabulka 1.:</i>	<i>Přehled měrných výkonů běžně vyráběných světelných zdrojů [1].....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 2.:</i>	<i>Základní rozdělení chromatičnosti zdrojů světla [7] .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 3.:</i>	<i>Přehled indexu podání barev [13] .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 4.:</i>	<i>Orientační živostnosti světelných zdrojů [1].....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 5.:</i>	<i>Vymezení barev na základě vlnové délky [1] .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 6.:</i>	<i>Parametry svítidla.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 7.:</i>	<i>Tabulka naměřených hodnot.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 8.:</i>	<i>Vypočtené hodnoty.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 9.:</i>	<i>Geometrické údaje .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 10.:</i>	<i>Srovnání hodnot .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 11.:</i>	<i>Charakteristika prostředí [5] .....</i>	<i>43</i>

## Použitá literatura:

- [1] SOKANSKÝ, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] HABEL, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TUO
- [4] SOKANSKÝ, K. a kolektiv: Racionalizace v osvětlování venkovních prostor. Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2005. Dostupné na URL </http://csorsostrava.cz/>
- [5] SOKANSKÝ, K a kolektiv: Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav, Ostrava 2007. Dostupné na URL </http://csorsostrava.cz/>
- [6] SOKANSKÝ, K a kolektiv: Metodické pokyny pro obnovu, provoz a údržbu veřejného osvětlení, Ostrava 2008. Dostupné na URL </http://csorsostrava.cz/>
- [7] HABEL, J.: Základy světelné techniky. FCC Public, Praha 2008
- [8] Časopis světlo [online]. Dostupné na URL </http://www.odbornecasopisy.cz/>
- [9] Fotografie ČTK, autor ŠTĚRBA, M. Dostupné na URL </http://www.tyden.cz/>
- [10] Světelné znečištění [online]. Dostupné na URL </http://www.svetelneznecisteni.cz/>
- [11] CELMA: Guide on obtrusive light [online]. Dostupné na URL </http://studylib.net/>
- [12] HABEL, J.: Osvětlování. ČVUT, Praha 1995
- [13] P. světelné studio. [online]. Dostupné na URL </www.plnospektralniosvetleni.cz/>
- [14] Thornlighting. [online]. Dostupné na URL </http://www.thornlighting.cz/>
- [15] Izera dark sky. [online]. Dostupné na URL </http://www.izera-darksky.eu/>